

# Виклики та основні тенденції розвитку світової енергетики в зв'язку з впровадженням новітніх технологій.

## Сучасний стан електроенергетичної системи України



**cigre**

For power system expertise

Віце-президент, голова технічного комітету

ГС "Міжнародна рада з великих електроенергетичних систем СІГРЕ в Україні»

Член адміністративного і технічного комітету CIGRE країн південно-східної Європи (SEERC)

Член американського інституту інженерів-електриків та електронщиків (IEEE)

Генеральний директор ТОВ "НТК ЕНПАСЕЛЕКТРО",

Бондаренко Ю.М.

# Інформаційний виклик

Розвиток світової енергетики формують міжнародні організації:

- World Energy Council - Світова енергетична рада;
- MEA (IEA) - міжнародне енергетичне агентство;
- МАГАТЕ - міжнародне агентство з атомної енергії;
- CIGRE - Міжнародна Рада з великих електроенергетичних систем;
- CIRED – міжнародна конференція по розподільчим мережам;
- IEC – міжнародний електротехнічний комітет;
- IEEE – американський інститут інженерів-електриків і електронщиків;
- ENTSO-E - європейська мережа системних операторів передачі електроенергії;
- ІНА – міжнародна гідроенергетична асоціація;
- ICOLD – міжнародний комітет з великих дамб;

Статус України в цих організаціях? Хто представляє енергетику України?

Як організовано розповсюдження і обговорення матеріалів серед фахівців з енергетики?



# Інформація про CIGRE

**CIGRE (Міжнародна рада експертів з великих електроенергетичних систем) – головна світова організація, яка розробляє стратегії розвитку і експлуатації електроенергетичного обладнання в енергосистемі.**

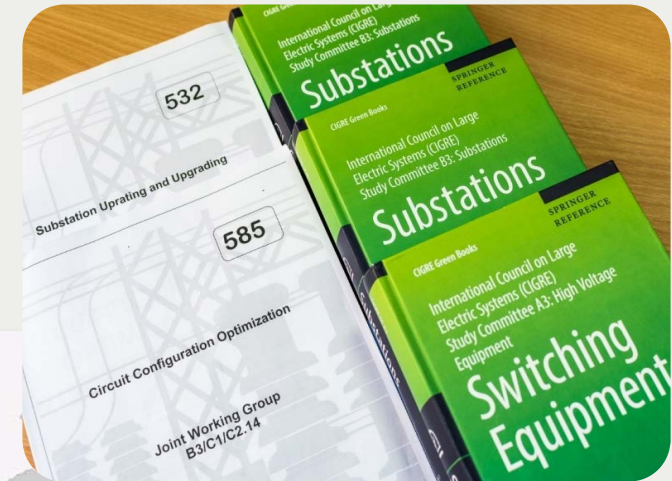
## Основні учасники:

- системні оператори,
- компанії розподільчих мереж,
- генеруючі компанії,
- електротехнічні інститути,
- виробники електротехнічного обладнання.



Карта CIGRE

60 національних комітетів (в тому числі український національний комітет з 2004 року),  
12 000 експертів по всьому світу



Джерело інформації світових технологій:

Зелені книги, журнали,  
експертні звіти, брошури



# CIGRE SEERC

## Україна з 2013 року член комітету країн Південно-Східної Європи (SEERC)

- Austria
- Bosnia and Herzegovina
- Croatia
- Czech Republic & Slovakia
- Georgia
- Greece
- Hungary
- Italy
- Kosovo
- Montenegro
- North Macedonia
- Romania
- Serbia
- Slovenia
- Turkey
- Ukraine

Карта SEERC



Червень 2018 року – 2-га конференція по розвитку енергосистем SEERC у Києві, Україна (доповіді знаходяться в українському національному комітеті)

Листопад 2020 року – 3-тя конференція по розвитку енергосистем SEERC у Відні, Австрія

# CIGRE's 16 напрямків які мають Дослідні Комітети



## **Group A – Обладнання:**

- A1 Електричні машини
- A2 Трансформатори
- A3 Високовольтне обладнання

## **Group B – Технології:**

- B1 Ізольовані кабелі
- B2 Лінії електропередачі
- B3 Підстанції
- B4 Постійний струм та силова електроніка
- B5 Електричний захист та автоматика

## **Group C – Системи:**

- C1 Розвиток енергосистеми і економіка
- C2 Робота енергосистеми та управління
- C3 Вплив енергосистем на навколишнє середовище
- C4 Технічні характеристики енергосистеми
- C5 Ринки електроенергії та регулятори
- C6 Системи розподілення та розподілена генерація

## **Group D – Нові матеріали & IT:**

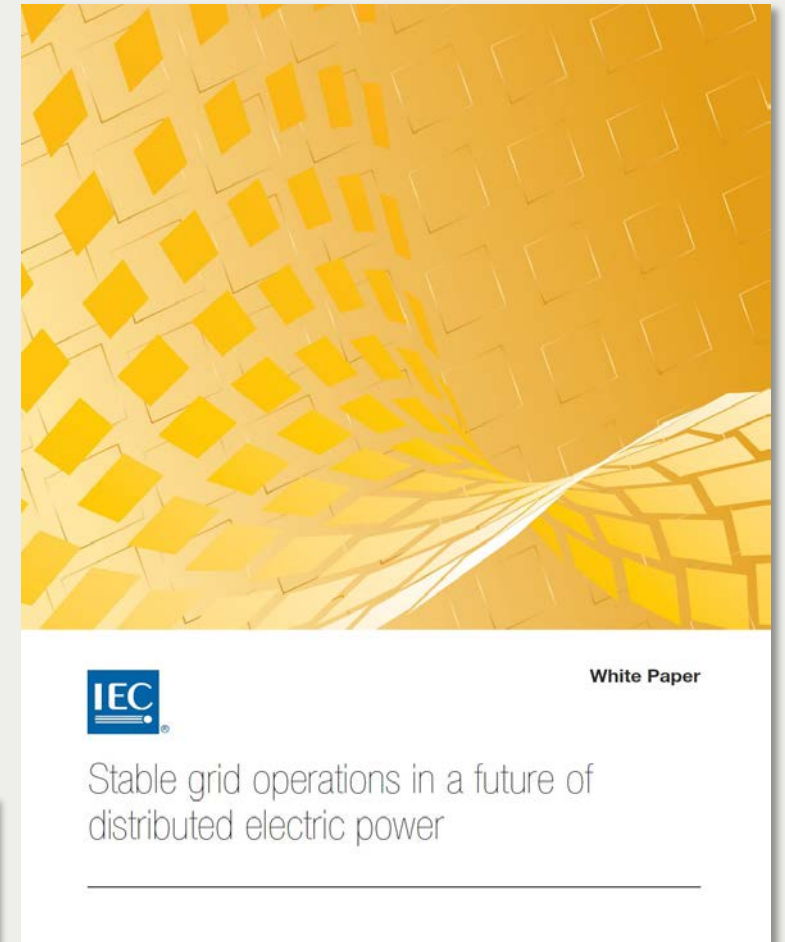
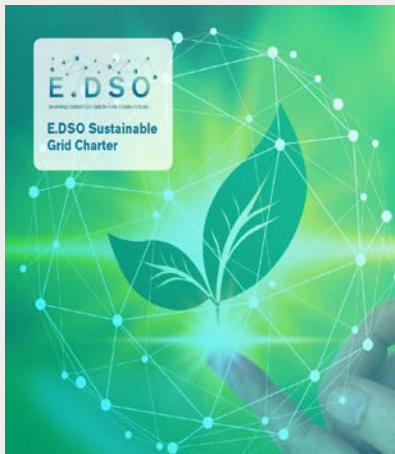
- D1 Матеріали та технології випробувань
- D2 Інформаційні системи та телекомунікації

Конференції, семінари (workshops), робочі групи експертів (workgroups)

Нажаль кількість експертів України в міжнародних технічних комітетах не перевищує 10-ти.

# Актуальні джерела інформації

- Біла книга МЕК – Стабільна робота мережі в майбутньому розподіленої електричної енергії (2018);
- План розвитку ринку електроенергії Великобританії (2019)
- Захист електричних мереж Америки від зовнішніх загроз (травень 2020 року);
- E.DSO Європейська Хартія стійкості енергосистеми, листопад 2019 року



# Технологічні (інноваційні) уклади – місце України



Уемура Норіцугу  
Суспільство №5 (наступна ера)  
Погляд Mitsubishi Electric  
1 – штучний інтелект;  
2 – кооперація країн;  
3 – зміна суспільства

I промислова революція	II промислова революція	III промислова революція	IV промислова революція
------------------------	-------------------------	--------------------------	-------------------------

## Технологічні (інноваційні) уклади – місце України?

Країни, які розробляють інноваційні технології в енергетиці:

- США;
- Великобританія;
- Франція;
- Німеччина;
- Італія;
- Японія;
- Канада;
- Китай;
- Південна Корея
- **Україна не входить**

Провідні компанії в електроенергетиці світу:

- General Electric;
- ABB;
- Siemens;
- Alstom;
- Areva;
- Hitachi;
- Toshiba;
- Schneider electric
- та інші.
- **Турбоатом;**
- **Електроважмаш;**
- **Запорізький трансформаторний завод**



For power system expertise



# Технологічні (інноваційні) уклади – місце України?



## КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ РОЗПОРЯДЖЕННЯ

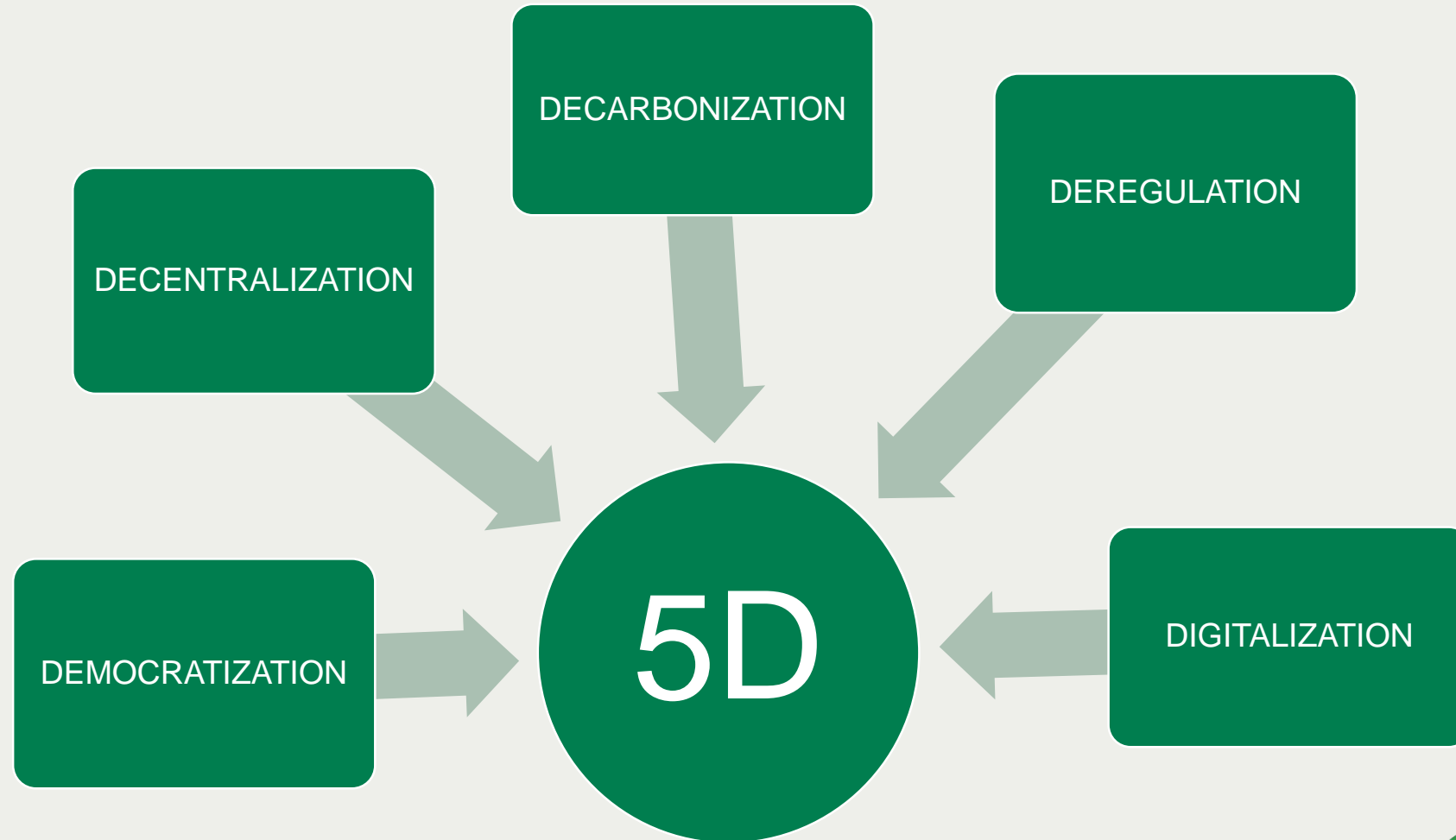
від 10 липня 2019 р. № 526-р  
Київ

### Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року

Незважаючи на велику кількість вчених та інженерів, а також частку людей, які мають вищу освіту, Україна має посередній рейтинг за показником “Інновації” та низькі значення показників “Взаємозв’язки університетів з промисловістю у сфері досліджень і розробок”, “Технологічна готовність”. Найбільш проблемним показником залишається “Іноземні інвестиції та трансфер технологій”.

Відповідно до індексу інноваційного розвитку, представленого агентством Bloomberg у 2018 році, Україна на 53 місці серед 60 досліджуваних держав. При цьому наша держава виявилася найгіршою за продуктивністю праці (60 місце), що свідчить про низький рівень застосовуваних технологій та виробництва товарів з низькою доданою вартістю, потрапила до трійки аутсайдерів за технологічними можливостями (58 місце) та посідає 54 місце за рівнем витрат на дослідження та розробки у валовому внутрішньому продукті. Водночас вона зберігає високе 28 місце за ефективністю вищої освіти та 35 місце за патентною активністю, тобто має потенціал до розвитку.

## Світ в енергетиці рухається в напрямку 5D



**DECARBONIZATION** - перехід до екологічно чистої, «безвуглецевої» енергетики за рахунок збільшення частки ВДЕ в енергетичному балансі, приросту частки електротранспорту і високих податків на використання викопного палива.



**DECENTRALIZATION** - перехід до територіально розподіленої електроенергетики з великою кількістю дрібних локальних виробників.



**DEREGULATION** – зміна структури управління енергетичної галузі



**DEMOCRATIZATION** (демократизація) – означає залучення до ринку електроенергетики різних учасників, інвесторів, виробників, споживачів та розширення кооперації різних енергосистем



**DIGITALIZATION** (оцифровування) – означає перехід інформаційного поля на цифрові технології. Або, іншими словами, переведення певної інформації з аналогового в цифровий формат для її легшого подальшого використання на сучасних електронних пристроях.

## Виклики і тенденції розвитку енергосистем в Європі (SEERC)

---

Що нас чекає:

### **Decarbonization – Decentralization – Digitalization – Democratization - Deregulation**

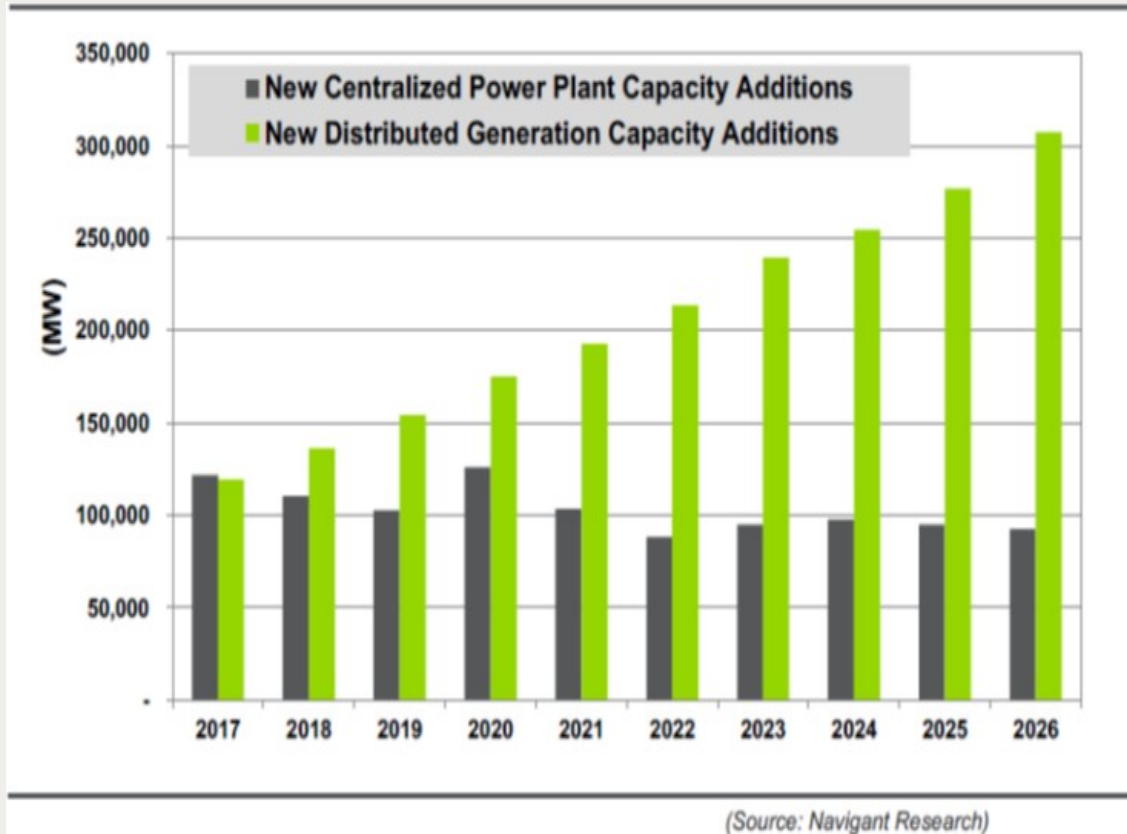
- Впровадження силової електроніки і постійного струму;
- Нові технології, принципи в регулюванні аварійних і нормальних режимів енергосистеми;
- Системи накопичування енергії (ГАЕС, батареї);
- Нові конструкції ліній електропередачі, підстанції, адаптація мереж до навколишнього середовища;
- Активні розподільчі мережі;
- Збільшення пропускної спроможності мережі;
- Активний споживач і виробник енергії;
- Оцінка надійності роботи електричної мережі для вимог споживача (SAIDI, SAIFI);
- Цифровізація електроенергетичних об'єктів;
- Нові концепції електричного захисту;
- Інформування споживача ринку енергії про технічні і комерційні ризики і наслідки



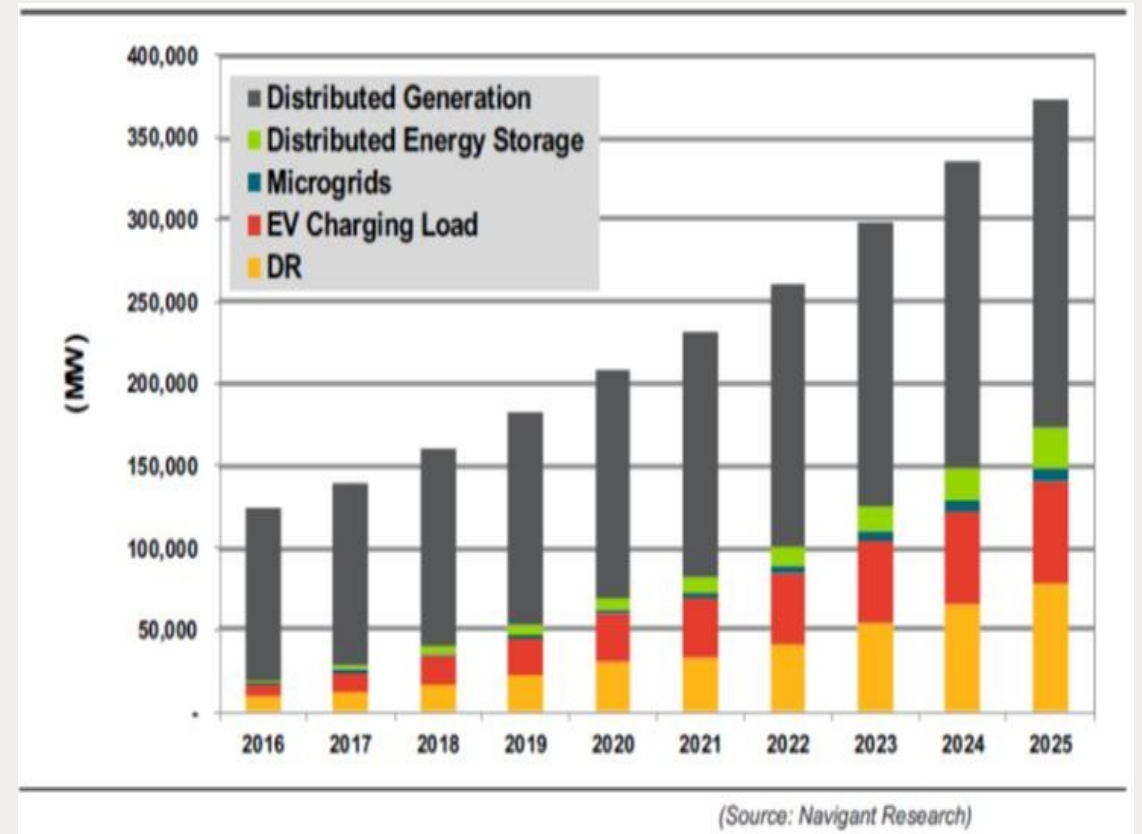


# Виклики і тенденції розвитку енергосистем в Європі (SEERC)

## Installed Centralized versus Distributed Power Capacity, World Markets: 2017-2026.



## Annual Installed DER Power Capacity by Technology, World Markets: 2016-2025



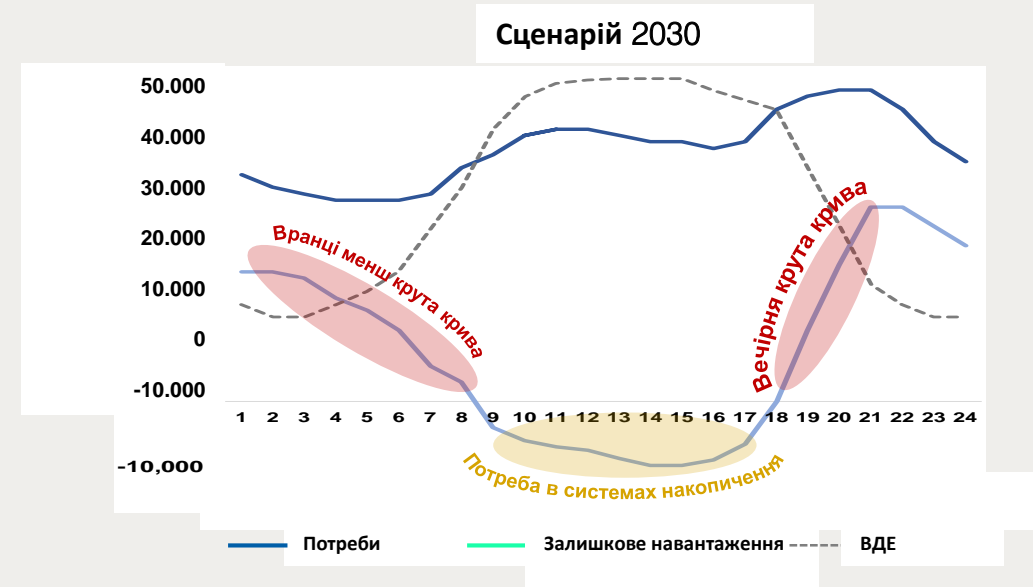
На основі матеріалів Workshop SEERC в Афінах (енергосистеми Італії, Австрії, Сербії, Греції)

# Зростання відновлювальних джерел: виклики

## ОПЕРАЦІЙНІ ПРОБЛЕМИ

1. Круті **КРИВИ** наприклад при заході сонця та внесок від падіння генерації СЕС
2. Зменшена **ЧАСТОТНА РЕГУЛЯЦІЯ** для автоматичного балансування постачання та потреби
3. **ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ МЕРЕЖІ** так як сонячна та вітро-генерація найбільше сконцентрована в Південно-Центральному регіоні
4. Погана реактивна потужність для **КОНТРОЛЮ НАПРУГИ** що надходить від **РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ** приєднаної до розподільчих мереж
5. **РИЗИКИ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ**: недостатність резервів потужності для покриття навантаження у часи пік
6. **ЗБИТКОВА ГЕНЕРАЦІЯ** коли мережеве навантаження негативне або коли ВЕС підвищують локальні перевантаження мережі
7. Зменшена **ІНЕРЦІЯ** коли в роботі менше генераторів з обертовими масами

## ПРОБЛЕМИ ЗРОСТАННЯ ЗАЛИШКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ



Підвищення розповсюдження відновлювальних джерел в генерації, разом з одночасним виведенням традиційних електростанцій з викидами вуглецю підвищує тиск на роботу системи

## **Зміна взаємовідносин між магістральними та розподільчими мережами (TSO-DSO Interface)**

- **На підстанціях високої та середньої напруги**

Обмеження потужністю трансформаторів, наявність РПН, можливість регулювання напруги, перетин ліній і кабелів, пристрої компенсації реактивної потужності

- **В системах інформації та керування**

Зміна стандартів, обсяги передавання інформації, інтерфейси, різне обладнання, наявність SCADA, RTU

## Вплив збільшення потужності Розподілених Енергетичних Ресурсів та можливі варіанти захисту.

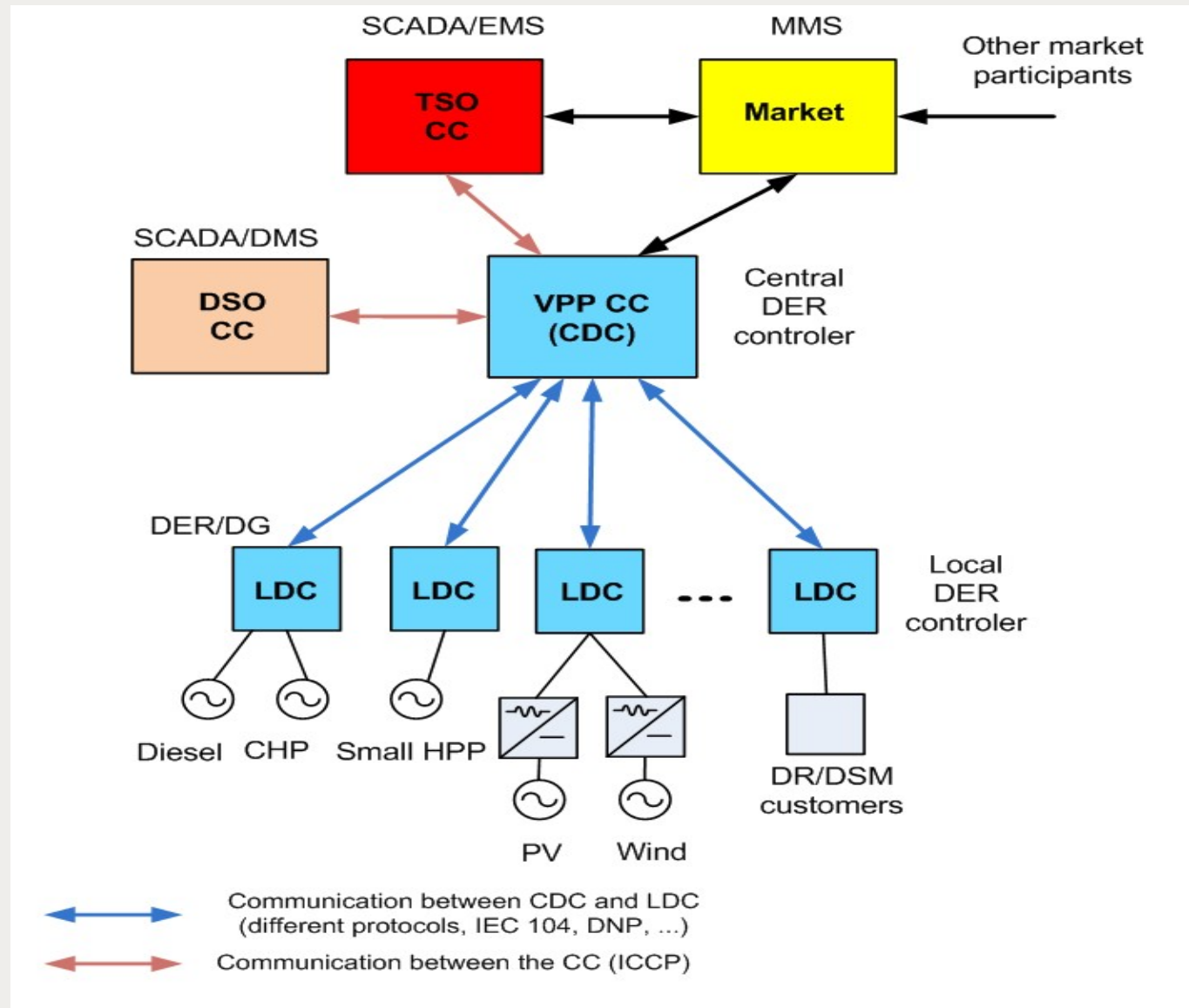
- В деяких робочих режимах і метеоумовах розподілена генерація та її розміщення може поставити під загрозу взаємодію операторів систем передачі та розподілення (перевантаження, напруга, частота...)
- Некоординована робота Розподілених Енергетичних Ресурсів може обмежити їх потенціал для участі в Ринку, та надання мережевих послуг.
- Для вирішення вищезазначених проблем існує потреба агрегації Розподілених Енергетичних Ресурсів та інтеграції їх в загальну парадигму управління, наприклад метод управління Розподіленими Енергетичними Ресурсами.

### Запропоновані різні методи:

- Інтернет модель (Віртуальна електростанція (VPP), віртуальні системи енергопостачання, Енергетичний Хаб
- Активні мережі (від розподільчих мереж, з РГ/ВДЕ, ADMSS
- Мікро мережі ( $\mu G$ )



# Initially proposed solution architecture



# Виклики



- **Як інтегрувати РЕР (розподілені енергетичні ресурси) в енергосистему**

- В залежності від типу, розміру, розміщення, рівня напруги і т.д.
- **Технічна проблема** ⇒ Правила приєднання, на фізичному рівні
- **Інтерфейси та сумісність**

- **Як інтегрувати РЕР в ринок**

- Ринки електроенергії, потужності, допоміжних послуг (резерви, P, Q, служба відновлення, планування, диспетчеризація...)
- Оптимізація портфеля РЕР може бути складна, потрібні більш прості підходи

# Зростання ВДЕ: рішення



## РОЗШИРЕННЯ МЕРЕЖІ

- Для посилення зв'язків між **внутрішніми ринковими зонами** та **транскордонного обміну** з сусідніми країнами;
- **Синхронна компенсація** для регулювання напруги, інерції та рівнів КЗ



## СТРУКТУРА РИНКУ

- **Угоди та тендери на придбання потужності** для фінансування інвестицій **ВДЕ**
- **Ринок потужності** для подавання довгострокових цінових сигналів ПІКОВИМ одиницям
- **Агрегація** потреб, ВДЕ та систем накопичення для доступу на Ринок Допоміжних послуг



## СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ

- Додаткові **6 ГВт ємностей** накопичення до 2030 року для забезпечення потреб **безпеки, відповідності та гнучкості\***



## ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ

- **Обмін даними** між операторами систем передачі та розподілення для забезпечення моніторингу та керованості
- Інфраструктура Інформаційно-Комунікаційних технологій для «захвату» **розподіленої гнучкості**

\* **Зростання/ зниження** під час світанку / заходу сонця, **понижуюче регулювання** для розміщення надлишку неконтрольованої генерації

# Deregulation



**Об'єднана енергетична система України**



**Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії**



**Об'єднана енергетична система Російської Федерації**



# Deregulation



**Європейська мережа операторів систем передачі електроенергії**



**Об'єднана енергетична система України**



**перехідний період – до 2025 року**

**ЖОРСТКА ВЕРТИКАЛЬ УПРАВЛІННЯ**

**Об'єднана енергетична система Російської Федерації**

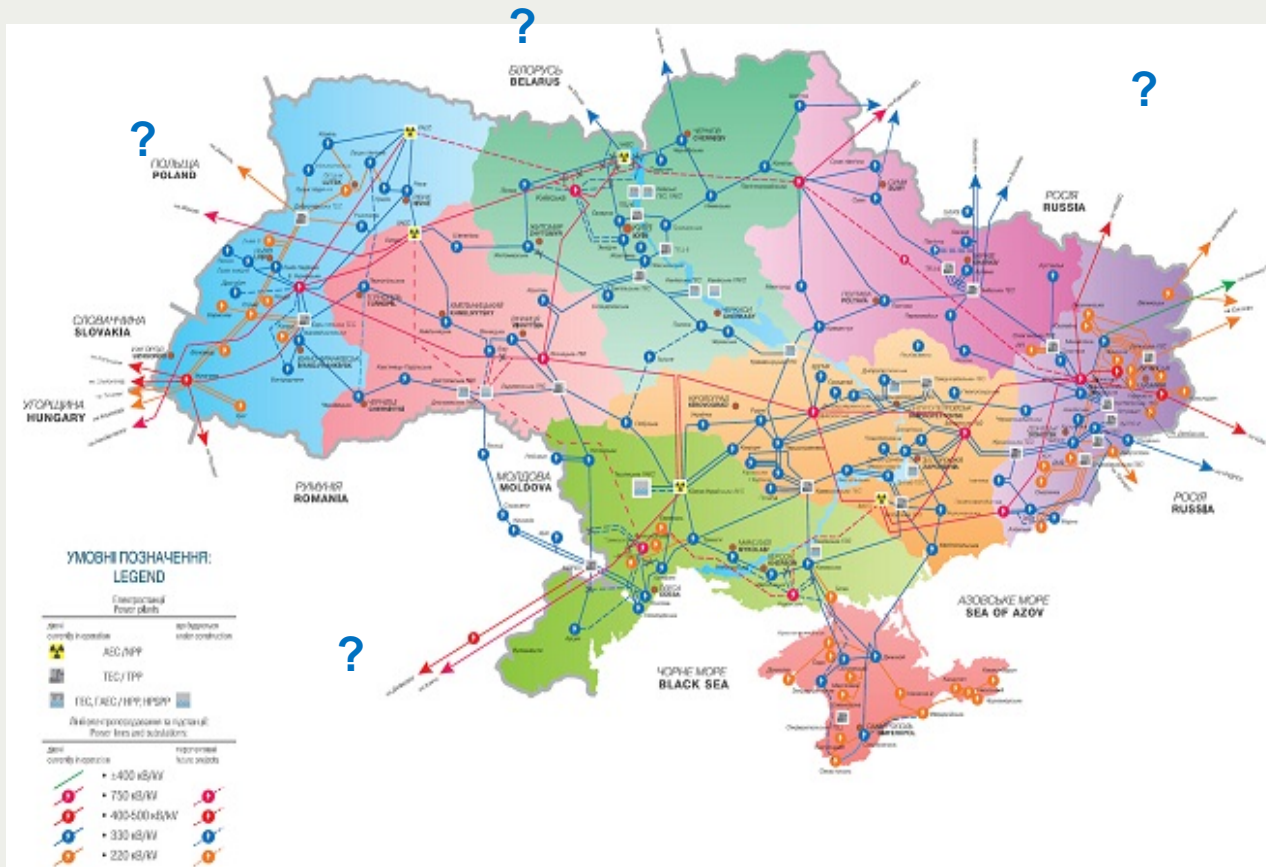
# Deregulation

## Хто відповідає за технічну політику в електроенергетиці України

- НКРЕКП;
- Мінекоенерго;
- Міністерство фінансів;
- Укренерго;
- Енергоатом;
- Укргідроенерго;
- Теплова генерація (ДТЕК);
- Обленерго;
- Приватні компанії;
- Споживач



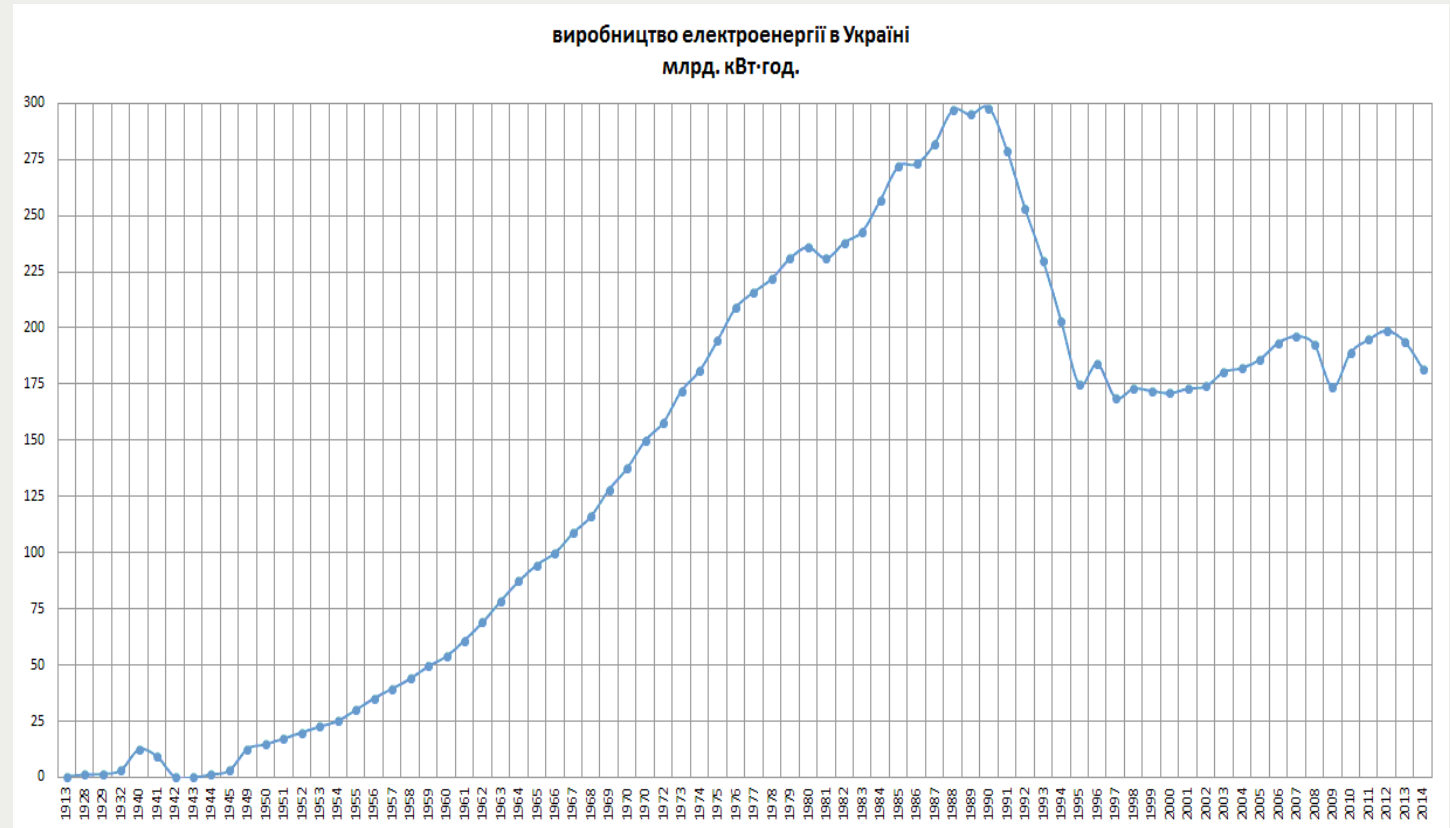
# Енергосистема України 1991 рік та 2019 рік



	1991	2019
<b>Населення:</b>	51.9 млн	42.2 млн
<b>Потужність генерації:</b>	52 млн кВт	49.7 млн кВт
<b>Максимальне навантаження:</b>	40 млн кВт	24 млн кВт
<b>Виробництво електроенергії:</b>	300 млрд кВт.год	159 млрд кВт.год
<b>Споживання електроенергії на 1 люд./рік:</b>	5 780 кВт.год	3 760 кВт.год

## Стан обладнання ОЕС України в 2019 році:

- ЛЕП – 23 388 км, **88%** більше 30-ти років
- Підстанції – 137, з них **17,3 %** понад 40 років
- Релейний захист **66%** відпрацьованого ресурсу
- Лінії зв'язку 11 000 км, з яких **50%** більше 30 років, ВОЛЗ **1 500 км**



159

2019



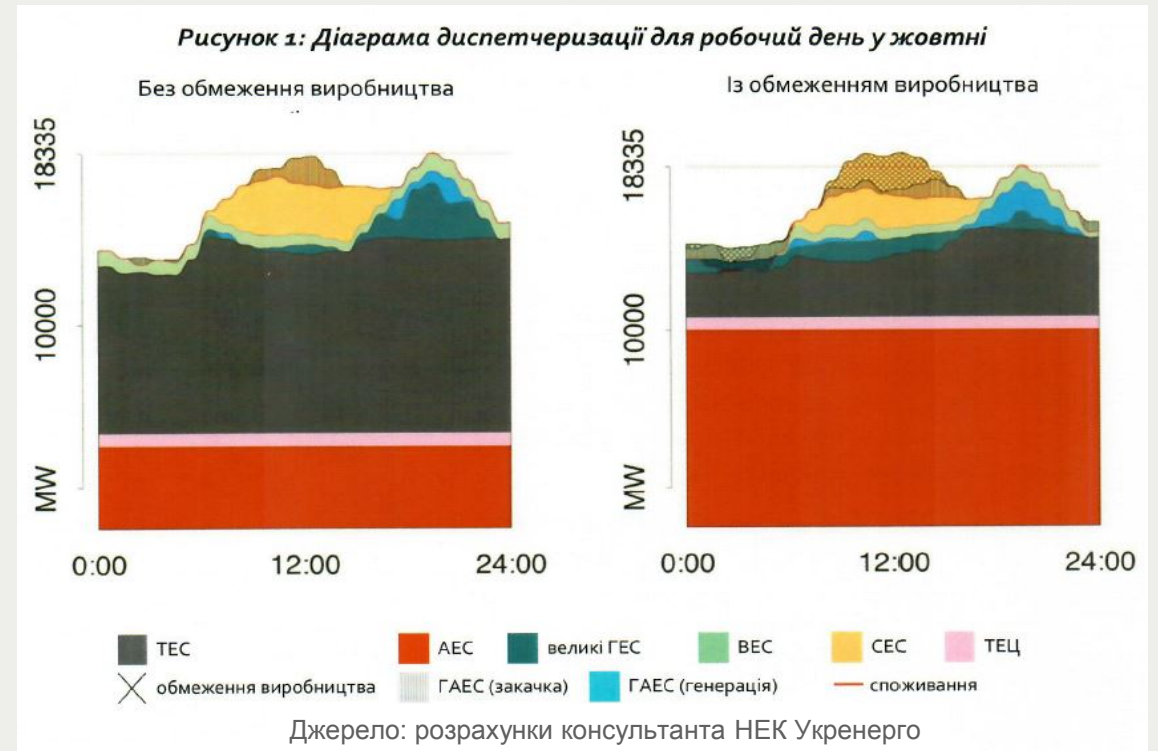
# Декарбонізація

## Генерація

- Атомні станції – 13,840 GW;
- Теплові станції – 34,3 GW;
- ГЕС, ГАЕС – 5, 81 GW;
- Вітрові станції – 389 MW
- Сонячні – 1 225 MW
- Біо – 99 MW

Регулювання: первинне, вторинне, третинне

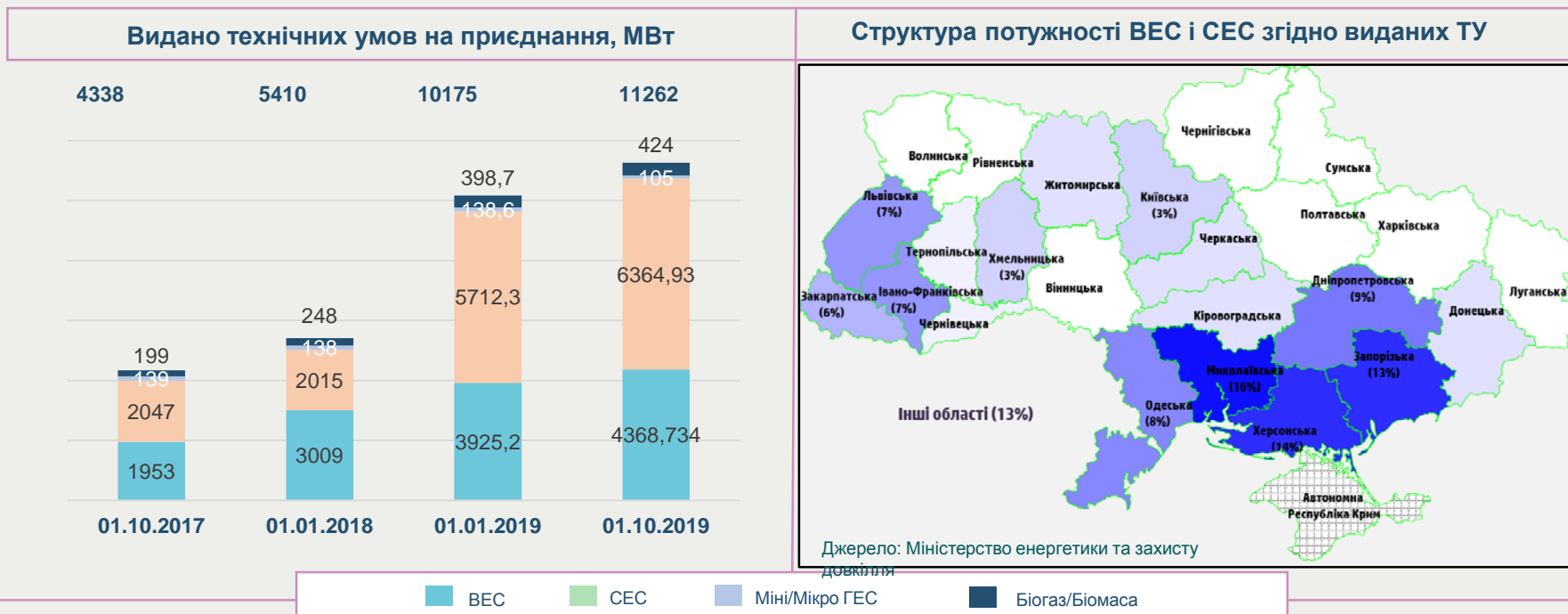
Прогноз відновлювальної енергетики (вітер, сонце), водних режимів ГЕС (метеоумови)



Графік добовий



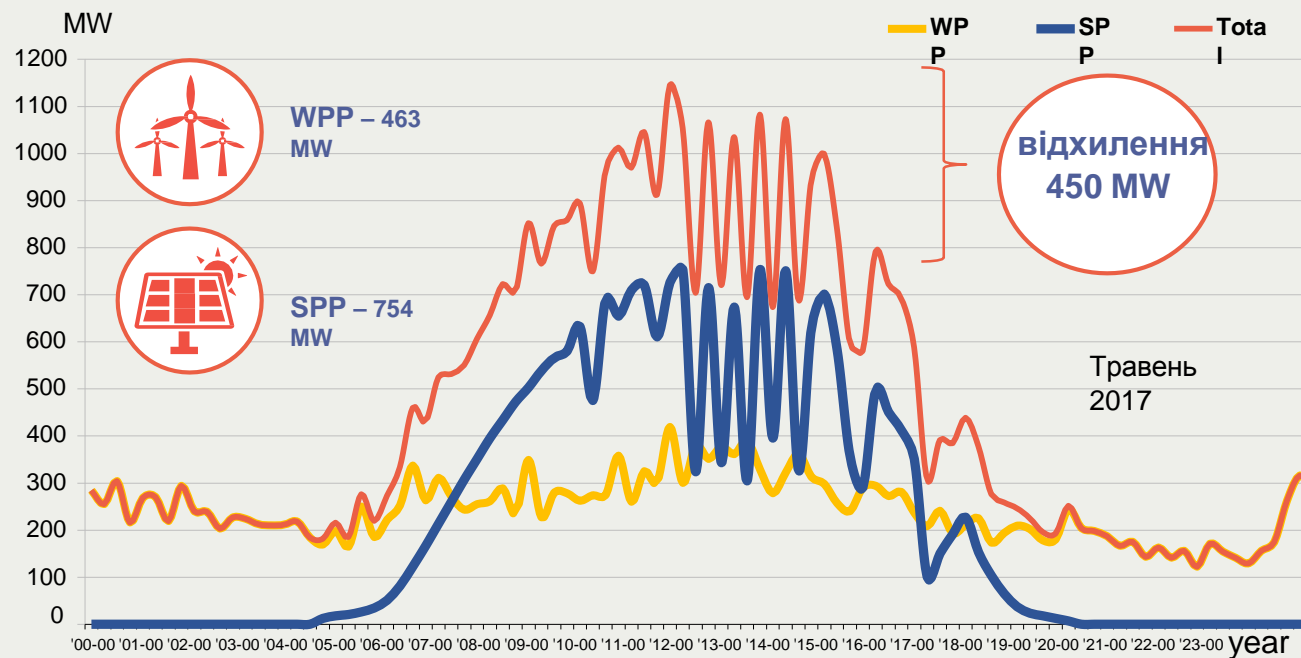
## Зростання ВДЕ в ОЕС України як проблемний фактор пропускної спроможності системи передачі



**61%** технічних умов на приєднання СЕС та ВЕС видано об'єктам, що заплановані у 5 південних областях: Одеській, Миколаївській, Херсонській, Дніпропетровській, Запорізькій

\* Інформація НЕК Укренерго

# НЕПЕРЕДБАЧЕНІСТЬ «ЗЕЛЕНОЇ» ГЕНЕРАЦІЇ : ВИКЛИКИ



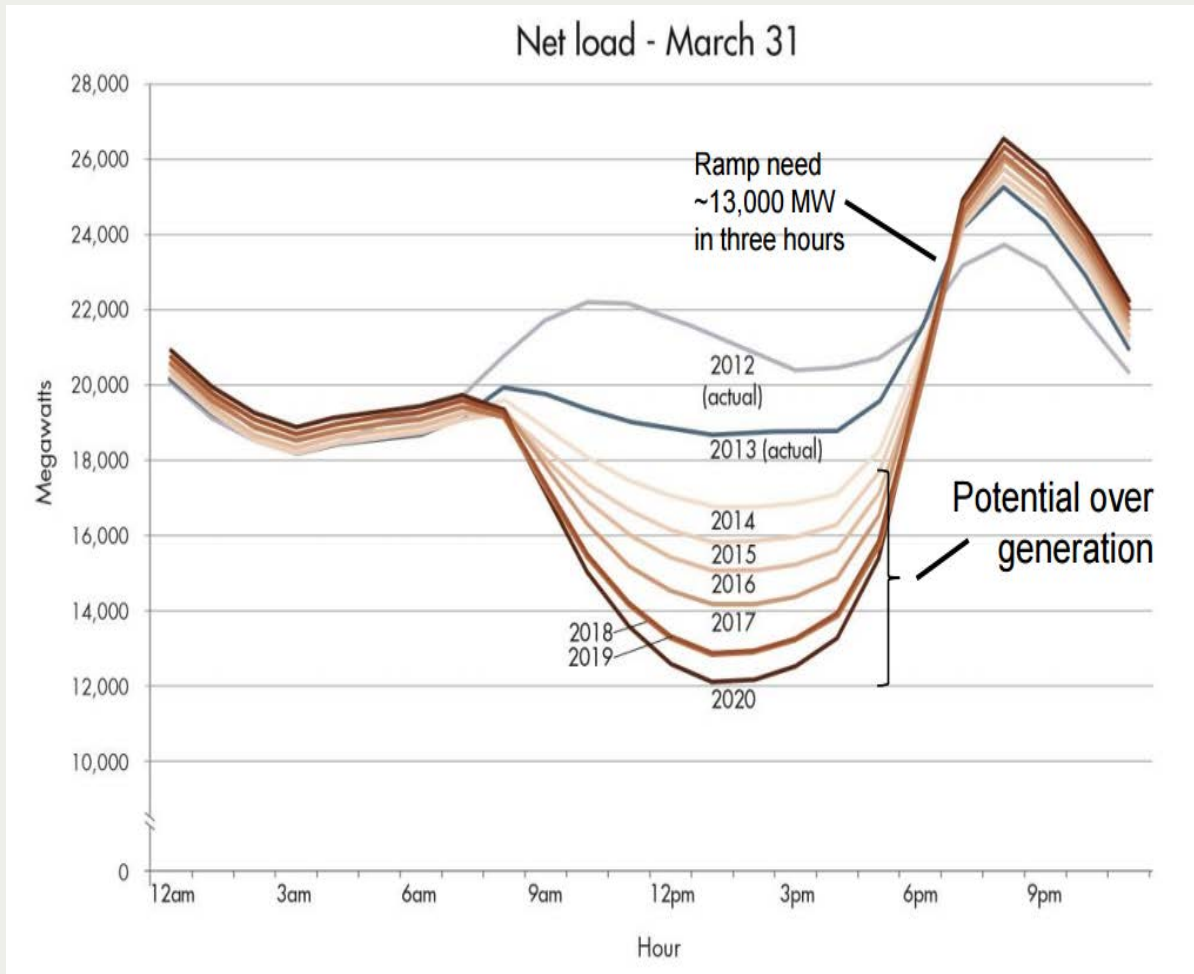
The normative amount of reserves in the IPS of Ukraine must be equal to **650 MW**. The target fluctuations of RES generation in the amount of **up to 450 MW** must be taken into account when drafting a daily chart.



The system is balanced. RES substitute the generation of thermal power stations in the amount of up to **2 billion kWh** annually

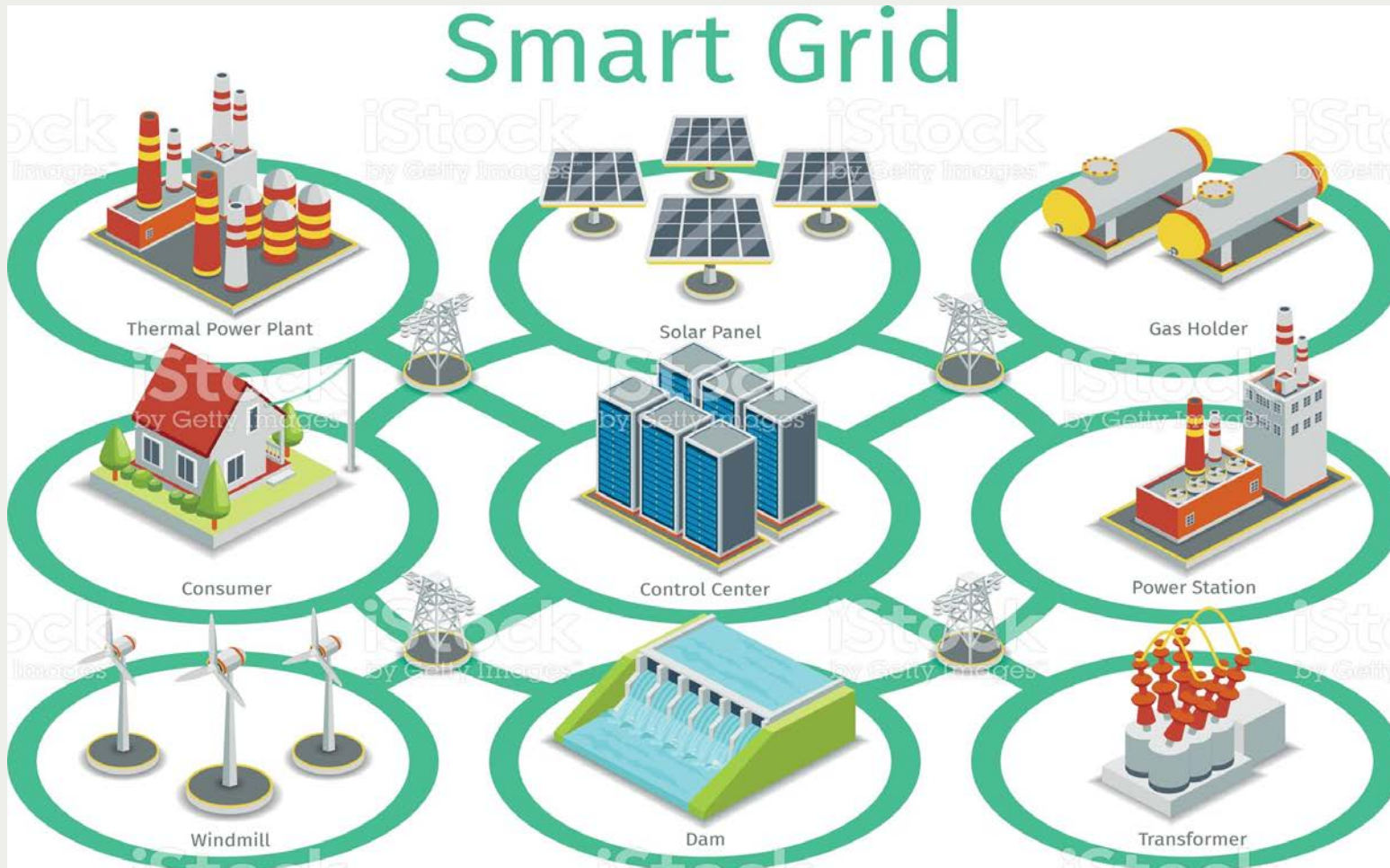
\* Інформація НЕК Укренерго

## «Каліфорнійська качка» - дисбаланс між піковим попитом і відновлювальною генерацією в день

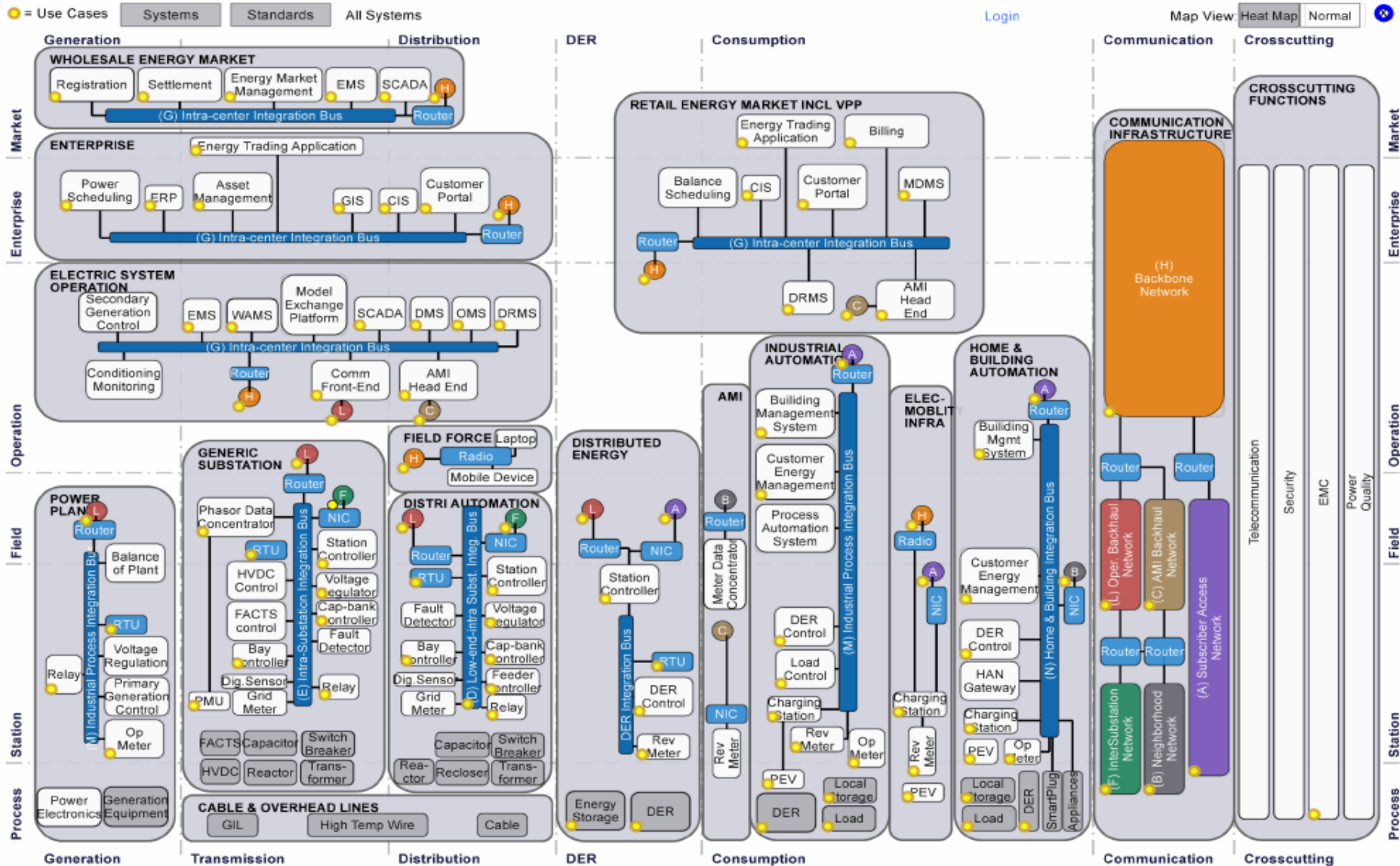


Обсяг традиційної  
генерації для  
покриття  
відновлювальної

# Діджиталізація (цифровізація)





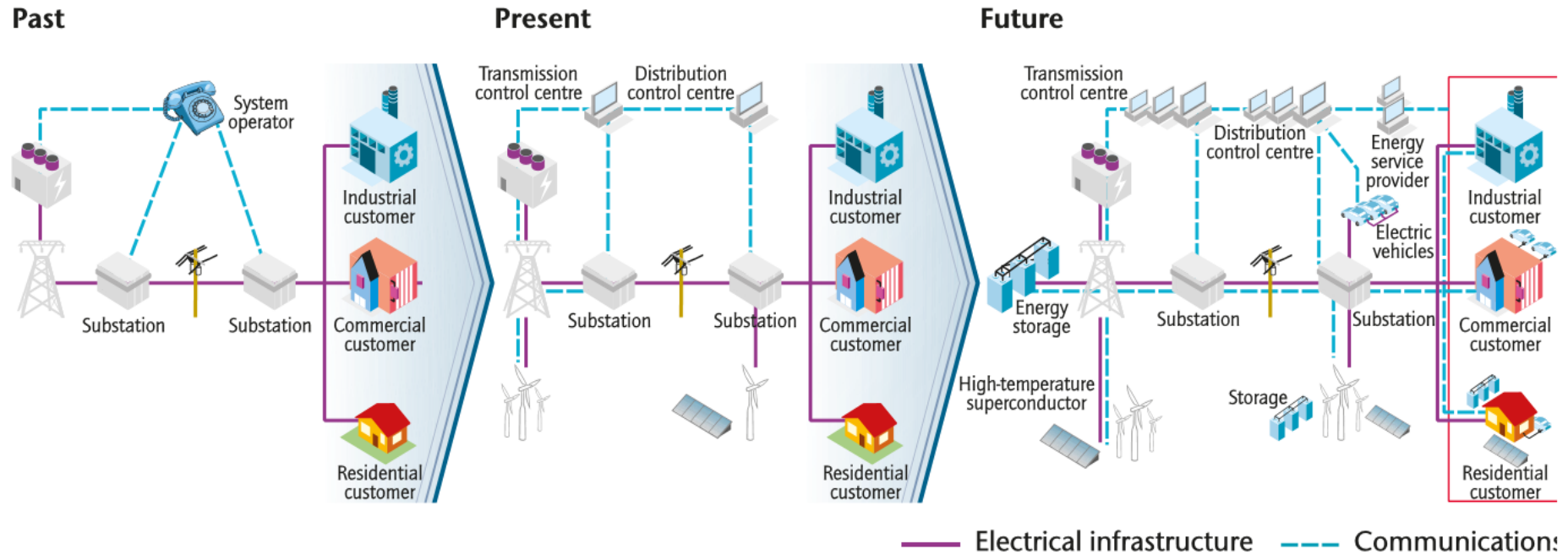


Nawal Parwal



# Smart grid (цифровізація)

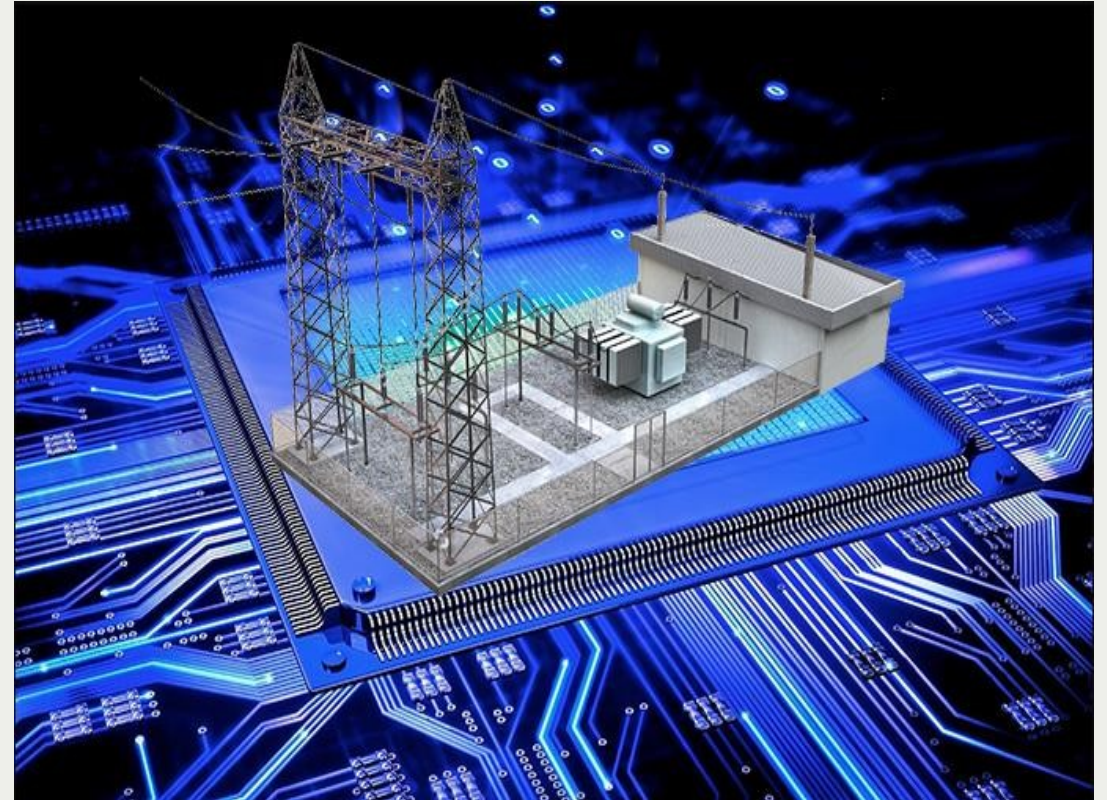
## Electricity system evolution



Source: IEA (2011), *Technology Roadmap: Smart Grids*, OECD/IEA, Paris.

## Цифровізація

### Цифрові підстанції – погляд у майбутнє енергетики



Загальна довжина мереж 0,4 – 35 кВ – 663 831 км;  
Кількість трансформаторів – 220 000 одиниць



# Інформаційні технології і кібербезпека



## Висновки:

1. Повинен бути створений координаційний центр по розробці концепції розвитку **електроенергетики** на основі інноваційних технологій, який моделює розвиток енергосистеми України для всіх видів генерації (атомних, теплових, гідро, відновлювальних). Оцінити виконання програм стратегій;
2. Необхідно створення робочих експертних груп для розробки технічних вимог на впровадження нових технологій на основі фахівців різних організацій, для використання енергетичними компаніями. Джерело фінансування їх роботи;
3. Адаптація міжнародних стандартів до енергетичних об'єктів української енергосистеми. Активізація роботи національного комітету МЕК і галузевих енергетичних інститутів;
4. Прагматичний підхід до реконструкції існуючих магістральних та розподільчих мереж в умовах розвитку нових видів генерації на рівні споживачів та Micro grid;
5. Впровадження нових рішень по забезпеченню регулювання режимів енергосистеми в умовах стрімкого зростання розподільчої відновлювальної генерації. Перегляд технічних умов.







**cigre**

For power system expertise

**Дякую за увагу!**

Email: [cigre.ukraine@ukr.net](mailto:cigre.ukraine@ukr.net)